

Best Available Copy

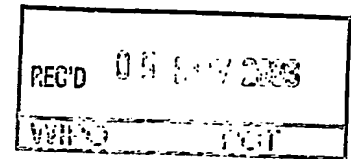
27.10.03

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

Bureau voor de Industriële Eigendom



Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 8 oktober 2002 onder nummer 1021600,

ten name van:

**NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST-
NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO**

te Delft

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Meten van een optisch weglengteverschil",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 27 oktober 2003

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,

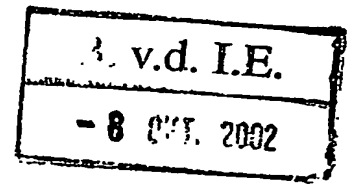
Mw. M.M. Enhus

Best Available Copy

**PRIORITY
DOCUMENT**

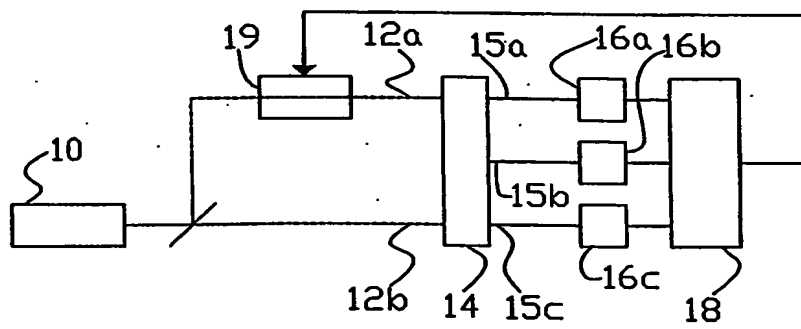
SUBMITTED OR TRANSMITTED
BUT NOT IN COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

102 1500



UITTREKSEL

Bij het meten van een optisch weglengteverschil wordt licht uit een lichtbron door een eerste en een tweede pad geleid. Een driewegs koppelaar combineert licht uit het eerste en het tweede pad in tenminste drie combinaties met tenminste drie onderling verschillende toegevoegde relatieve fasedraaiing. Een detector meet interferentie intensiteiten van de tenminste drie combinaties. Een rekeneenheid bepaalt uit de intensiteiten een faseverschil tussen het licht uit het eerste en tweede pad onder eliminatie van een effect van een contrast tussen het licht uit het eerste en tweede pad.



10 1500

B. v.d. I.E.

- 8 OKT. 2002

P61492NL00

Titel: Meten van een optisch weglengteverschil.

De uitvinding heeft betrekking op een inrichting voor het meten van een optisch weglengteverschil, op een werkwijze voor het bepalen van een optisch weglengteverschil en op een computer programma product voor toepassing in een dergelijke werkwijze.

5 Optische interferentiemetingen maken het mogelijk met grote nauwkeurige weglengteverschillen tussen verschillende lichtpaden te meten. Hierbij combineert men lichtcomponenten die eerst door de verschillende paden geleid zijn. De intensiteit van het gecombineerde licht is afhankelijk van de relatieve fase van de componenten welke veroorzaakt
10 wordt door het weglengteverschil. Door deze intensiteit te meten verkrijgt men daarom informatie over het weglengteverschil.

Dergelijke metingen worden vaak gebruikt in regelsystemen waarin het weglengteverschil tussen de verschillende paden moet worden weggeregeld. Wanneer er geen weglengteverschil is dan is de intensiteit van
15 een combinatie van de componenten waarin één van de componenten voor het combineren de polariteit geïnverteerd wordt minimaal. Hiervan kan men gebruik maken om het weglengteverschil weg te regelen. Een methode om het minimum nauwkeurig te bepalen is het gebruiken van een meetsignaal dat "door nul heengaat" wanneer het weglengteverschil nul is
20 (dwz dat het meetsignaal negatief is bij een weglengteverschil met in één richting en positief is bij een weglengteverschil met in de tegenovergestelde richting). Een dergelijk meetsignaal wordt wel gemaakt door het weglengteverschil een klein beetje te moduleren en de in fase component van de resulterende modulatie in de intensiteit van het gecombineerde
25 signaal synchroon te meten. Deze in fase component gaat door nul heen op het minimum van de intensiteit, dat wil zeggen wanneer het weglengteverschil nul is.

In praktijk is een modulatie van het weglengteverschil echter vaak ongewenst. Daarom maakt men het meetsignaal dat door nul heengaat zonder modulatie ook wel door de intensiteit van twee combinaties van de componenten te meten, waarin de componenten respectievelijk rechtstreeks gecombineerd worden en nadat één van de componenten 180 graden in fase gedraaid is. De verhouding tussen het verschil en de som van de zodoende gemeten intensiteiten gaat door nul heen wanneer het weglengteverschil is weggeregeld. Door deze verhouding uit te rekenen verkrijgt men een meetsignaal waarmee het weglengteverschil naar nul geregeld kan worden zonder dat modulatie nodig is.

Het zo verkregen meetsignaal is o.a. evenredig met de amplitudeverhouding van de lichtcomponenten die gecombineerd worden. Deze amplitudeverhouding heeft geen effect op het weglengteverschil als dat weggeregeld wordt. De amplitudeverhouding speelt echter wel een rol wanneer het weglengteverschil naar een vaste waarde geregeld moet worden die niet gelijk is aan nul. Ook kan de amplitudeverhouding invloed hebben op de versterking van een regellus waarmee het weglengteverschil wordt geregeld. Helaas is de amplitudeverhouding van de lichtcomponenten niet altijd constant. Daarom is het vaak nodig om de amplitudeverhouding apart te meten om voor het effect ervan te compenseren, dit vraagt echter over het algemeen om gecompliceerde aanvullende metingen die de inrichting bovendien kwetsbaarder maken voor fluctuaties in de gevoeligheid.

Het is, onder meer, een doel van de uitvinding om te voorzien in een inrichting voor het meten van een optisch weglengteverschil waarin het effect amplitudeverhouding van de lichtcomponenten op de meting van het weglengteverschil op eenvoudige wijze geëlimineerd wordt.

De uitvinding voorziet in een inrichting volgens conclusie 1. Door de uitvinding wordt het effect van de amplitudeverhouding op de fasemeting

met drie gelijksoortige intensiteitsmetingen geëlimineerd. Zodoende is de eliminatie robuust en eenvoudig te realiseren.

Bijvoorkeur wordt het licht uit het eerste en tweede pad gecombineerd tot drie combinaties met waarin de relatieve fasen onderling nagenoeg honderdtwintig graden verschillen. Zodoende verkrijgt men een maximale gevoeligheid.

Als koppelaar wordt bijvoorkeur gebruik gemaakt van een golfgeleider (waveguide) koppelaar. Hiermee valt de koppelaar op eenvoudige wijze te realiseren.

10

Deze en andere doelstellingen en voordelige aspecten van de inrichting en werkwijze volgens de uitvinding zullen nader worden beschreven aan de hand van de volgende figuren.

15

Figuur 1 toont een inrichting voor het meten van een weglengteverschil

Figuur 2a,b tonen een drieweg koppelaar

Figuur 1 toont een inrichting voor het meten van een weglengteverschil. De inrichting bevat een lichtbron 10, een koppelaar 14, detectoren 16a-c, een rekeneenheid 18 en een padlengte regelaar 19. Licht uit lichtbron 10 wordt via twee paden 12a,b naar een koppelaar 14 geleid. Lichtpaden 12a,b hebben elk een eigen weglengte, waarbij de weglengtes van de verschillende lichtpaden 12a,b kunnen verschillen. Padlengte regelaar 19 is in staat de weglengte van één van de lichtpaden onder besturing aan te passen. Verdere details van lichtpaden 12a,b zijn niet nodig voor het begrijpen van de uitvinding en zijn daarom weggelaten. Koppelaar 14 heeft drie uitgangen die elk aan een respectievelijke detector 16a-c gekoppeld zijn. Detectoren 16a-c hebben uitgangen die aan

rekeneenheid 18 gekoppeld zijn. Rekeneenheid 18 heeft een uitgang die aan padlengte regelaar 19 gekoppeld is.

5 Figuur 2a toont een voorbeeld van een driewegkoppelaar 14. Deze uitvoeringsvorm van driewegkoppelaar 14 bevat een drietal optische golfgeleiders 20a,b, 21 (bijvoorbeeld glasfibers) en inkoppellenzen 22a,b. Licht uit de paden 12a,b wordt door inkoppellenzen 22a,b op de ingang van twee van de optische golfgeleiders 20a,b afgebeeld. De drie optische golfgeleiders 20a,b, 21 wordt voor tenminste een deel van hun lengte op korte afstand van elkaar gebracht (dit deel wordt al een parallel lopende
10 deel getoond). Hoewel de drie golfgeleiders 20a,b, 21 in fig. 2a schematisch op rij getoond worden liggen golfgeleiders 20a,b, 21, paarsgewijs tegen elkaar aan zoals getoond in fig. 2b.

Door de korte afstand tussen de golfgeleiders 20a,b 21 treedt er paarsgewijs optische koppelingen op waardoor lichtgolven deels van de ene
15 golfgeleider naar de andere koppelen. Zodoende wordt licht dat op één golfgeleider 20a,b ingekoppeld wordt verdeeld over de golfgeleiders uitgekoppeld op uitgangen 15a-c van de golfgeleiders 20a,b, 21. Er zijn onderlinge faseverschillen tussen de fasen waarmee het licht van een bepaalde ingang op verschillende uitgangen 15a-c uitgekoppeld wordt,
20 afhankelijk of de betrokken uitgang 15a-c direct via de golfgeleider 20a-c aan de bepaalde ingang gekoppeld is, of via een koppeling tussen de golfgeleiders 20a,b.

Omdat licht op twee van de golfgeleiders 20a,b wordt ingekoppeld vormt het licht op uitgangen combinaties van de lichtgolven die op de
25 ingangen 20a,b ingekoppeld zijn, waarbij het licht in elke combinatie met verschillende toegevoegde fase verschillen gecombineerd wordt. Als bijvoorbeeld is de fasedraaiing \oplus bij koppeling tussen elk paar golfgeleiders 20a,b, 21 hetzelfde (bijvoorbeeld honderdtwintig graden). In dit voorbeeld zal het toegevoegde faseverschil tussen eerste licht uit eerste inkoppellenzen 22a
30 en tweede licht uit tweede inkoppellenzen 22b $-\oplus$ zijn op de uitgang 15a waar

het eerste licht direct via een golfgeleider 20a en het tweede licht via een koppeling arriveert, terwijl het toegevoegde faseverschil Θ is op de uitgang 15c waar het eerste licht via een koppeling arriveert en het eerste licht direct via een golfgeleider 20b. Verder zal het toegevoegde fase verschil nul
 5 zijn op de uitgang 15b van de golfgeleider 21 waarin zowel het eerste als het tweede licht via een koppeling arriveert.

Het spreekt vanzelf dat ook aan de uitgangen 15a-c lenzen enz. aangebracht kunnen worden om het uittredende licht naar detectoren 16a-c te koppelen, maar deze worden voor de overzichtelijkheid niet getoond.

10 In bedrijf wordt licht uit lichtbron 10 via twee verschillende lichtpaden 12a,b naar ingangen van driewegkoppelaar 14 geleid. Driewegkoppelaar combineert het licht uit beide lichtpaden 12a,b op drie verschillende manieren, waarbij het licht uit de verschillende lichtpaden 12a,b telkens met een andere relatieve fase gecombineerd wordt:
 15 bijvoorbeeld op een eerste uitgang 15a in fase, op een tweede uitgang 15b met het licht uit het eerste lichtpad 12a bijvoorbeeld honderdtwintig graden vooruitlopend op het licht uit het tweede lichtpad, en op een derde uitgang 15c met het licht uit het eerste lichtpad 12a bijvoorbeeld honderdtwintig graden achterlopend op het licht uit het tweede lichtpad. De intensiteit van
 20 het gecombineerde licht dat uittreedt uit de verschillende uitgangen 15a-c wordt door detectoren 16a-c gedetecteerd. Detectoren 16a-c geven detectiesignalen door aan rekeneenheid 18. De detectiesignalen representeren de gedetecteerde intensiteiten van de verschillende combinaties, bijvoorbeeld in de vorm van analoge elektrische signalen of in
 25 de vorm van digitale representaties van de gemeten intensiteit.

Rekeneenheid 18 berekent het faseverschil tussen het licht uit de verschillende lichtpaden 12a,b uit de gemeten intensiteiten. In het voorbeeld waarin driewegkoppelaar 14 het licht uit lichtpaden 12a,b combineert met relatieve fases van nul en plus en min honderdtwintig graden
 30 geldt voor de intensiteiten van de verschillende combinaties:

$$I_0 = A(1 + V \cos(360 \cdot D/\lambda))$$

$$I_+ = A(1 + V \cos(120 + 360 \cdot D/\lambda))$$

$$I_- = A(1 + V \cos(-120 + 360 \cdot D/\lambda))$$

Hierin zijn I_0 , I_+ en I_- de intensiteiten van de combinaties van licht
 5 uit lichtpaden 12a,b die op uitgangen 15a-c uittreden, waarbij I_0 de
 intensiteit van de combinatie met relatieve fase 0 voorstelt, en I_+ en I_- de
 combinaties met 120 graden voor en achterlopende fase. D is het
 weglengteverschil tussen lichtpaden 12a,b, λ is de golflengte van het
 gebruikte licht. A is een functie van de gemiddelde amplitude van het licht
 10 uit beide lichtpaden 12a,b en V het contrast van de interferentie
 intensiteiten. In het contrast komt bijvoorbeeld het verschil tussen de
 amplitudes en of polarisatieverschillen van het licht uit beide lichtpaden
 12a,b tot uitdrukking.

Rekeneenheid 18 berekent uit de signalen van detectoren het
 15 weglengteverschil D tussen lichtpaden 12a,b, bijvoorbeeld volgens de relatie

$$D = \lambda \arctg([\sqrt{3}] \cdot [I_+ - I_-] / [2I_0 - I_+ - I_-]) / 360$$

(De factor 360 gaat ervan uit dat arctg functie (inverse van de tangens
 20 functie) zijn resultaat in graden geeft. In het geval dat radialen gebruikt
 worden wordt deze factor 2π).

Zodoende wordt het effect van de gemiddelde amplitude A en het
 verschil tussen de amplitudes V van het licht uit beide lichtwegen
 geëlimineerd. Rekeneenheid 18 bepaalt aan de hand van het zo berekende
 25 weglengteverschil D een regelverschil met een gewenste weglengteverschil
 en levert een feedbacksignaal aan padlengte regelaar 19 evenredig met het
 regelverschil. Zodoende regelt de inrichting het weglengteverschil tussen
 beide lichtpaden 12a,b naar de gewenste waarde.

De berekening van het weglengte verschil D volgens bovenstaande
 30 formule is niet éénduidig: dezelfde meting van I_0 , I_+ , I_- kan ook

overeenkomen met een weglengteverschil dat een heel aantal golflengtes $\lambda/2$ verschilt van de gegeven oplossing. In het voorgaande is ervan uitgegaan dat het weglengteverschil oorspronkelijk ligt tussen +/- een kwart van de golflengte λ van het gebruikte licht. Als hiervan niet kan worden uitgegaan dan wordt op de bovenbeschreven wijze tevens een berekening gedaan aan metingen met licht van een tweede golflengte λ' die verschilt van λ . Door beide berekeningen te combineren is het mogelijk om te bepalen welk veelvoud van λ bij de berekende D moet worden opgeteld om voor beide golflengten tot nagenoeg dezelfde D te komen. Zodoende kan de waarde van D binnen een groter bereik eenduidig bepaald worden dan bij meting op een enkele golflengte.

Hoewel de uitvinding beschreven is aan de hand van combinaties van het licht uit lichtpaden 12a,b waarbij de relatieve fase van het gecombineerde licht telkens honderdtwintig graden uit elkaar ligt kan uiteraard ook gebruik gemaakt worden van andere combinaties van relatieve fases $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. De door detectoren 16a-c gemeten intensiteiten I1, I2, I3 voldoen dat aan

$$I_0 = A(1 + V \cos(\varphi_1 + 360 \cdot D/\lambda))$$

$$I_1 = A(1 + V \cos(\varphi_2 + 360 \cdot D/\lambda))$$

$$I_2 = A(1 + V \cos(\varphi_3 + 360 \cdot D/\lambda))$$

Voor gegeven $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ kan hieruit kan met elementaire algebraïsche technieken weer een formule voor het weglengteverschil D afgeleid worden als functie van I_0, I_1, I_2 , waaruit het effect van A en V geëlimineerd is. Hiermee kan rekeneenheid wederom het weglengteverschil D uit de gemeten intensiteiten I_0, I_1, I_2 berekenen. Zonder af te wijken van de uitvinding kan de berekening in plaats van met een expliciete uitdrukking voor D ook uitgevoerd worden door D numeriek uit bovenstaande vergelijkingen op te lossen, bijvoorbeeld door middel van het op zich bekende Newton-Raphson algoritme.

Hoewel de uitvinding is beschreven aan de hand van een inrichting met een regelsysteem voor het instellen van het weglengteverschil D zal het duidelijk zijn dat de bepaling van het weglengteverschil D volgens de uitvinding ook in andere omstandigheden gebruikt kan worden, bijvoorbeeld

5 wanneer alleen een meting van het weglengteverschil D nodig is, bijvoorbeeld voor een latere correctie berekening van andere metingen die bij het weglengteverschil gedaan zijn.

Rekeneenheid 18 wordt bijvoorkeur uitgevoerd als een digitale computer voorzien van een programma om de gemeten intensiteiten uit te

10 lezen en D op de in het voorgaande omschreven wijze uit de metingen van de intensiteiten te berekenen. Zonder af te wijken van de uitvinding kan echter ook gebruik gemaakt worden van speciale hardware die de beschreven berekening uitvoert, hetzij met digitale of met analoge signalen.

CONCLUSIES

1. Inrichting voor het meten van een optisch weglengteverschil, welke inrichting is voorzien van
 - optische elementen om licht uit een lichtbron door een eerste en een tweede pad te leiden;
 - 5 - een tenminste driewegs koppelaar om licht uit het eerste en het tweede pad in tenminste drie combinaties met tenminste drie onderling verschillende toegevoegde relatieve fasedraaiingen met elkaar te combineren,
 - een detector ingericht om interferentie intensiteiten te meten van de
 - 10 tenminste drie combinaties;
 - een rekeneenheid ingericht om uit de intensiteiten een faseverschil tussen het licht uit het eerste en tweede pad te bepalen onder eliminatie van een effect van een contrast waarin tussen het licht uit het eerste en tweede pad.
2. Inrichting volgens conclusie 1, waarin de tenminste
 - 15 driewegskoppelaar het licht uit het eerste en tweede pad met drie verschillende toegevoegde relatieve fasedraaiingen met elkaar combineert, die paarsgewijs nagenoeg honderdtwintig graden verschillen.
3. Inrichting volgens conclusie 1 of 2, waarin de tenminste driewegskoppelaar tenminste drie onderling gekoppelde golfgeleiders
 - 20 omvat.
4. Inrichting volgens één der voorafgaande conclusies, voorzien van een padlengte regelaar, waarbij de rekeneenheid aan een sturingang van de padlengte regelaar gekoppeld is om het berekende faseverschil in feedback te regelen naar een gewenst faseverschil.
- 25 5. Werkwijze voor het meten van een optisch weglengteverschil, welke werkwijze de stappen omvat van
 - licht uit een lichtbron door een eerste en een tweede pad te leiden;

- het combineren van licht uit het eerste en het tweede pad in tenminste drie combinaties met tenminste drie onderling verschillende toegevoegde relatieve fasedraaiing;
 - het meten van interferentie intensiteiten van de tenminste drie
- 5 combinaties;
- het berekenen van een faseverschil tussen het licht uit het eerste en tweede pad te bepalen onder eliminatie van een effect van een contrast tussen het licht uit het eerste en tweede pad.
6. Computer programma product met instructies om een computer de
- 10 volgende stappen te doen uitvoeren;
- het bemonsteren van interferentie intensiteiten van tenminste drie combinaties van licht uit een eerste en tweede lichtpad, waarbij het licht in de drie combinaties met tenminste drie onderling verschillende toegevoegde relatieve fasedraaiing gecombineerd is;
- 15 - het berekenen van een faseverschil tussen het licht uit het eerste en tweede pad te bepalen onder eliminatie van een effect van een contrast tussen het licht uit het eerste en tweede pad.

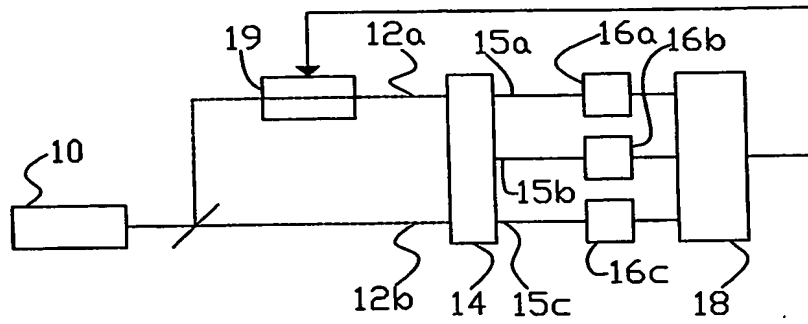


Fig.1

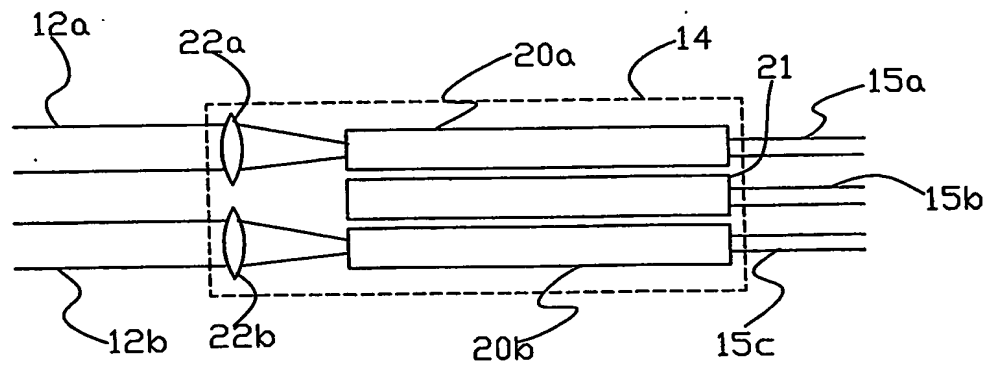


Fig 2a

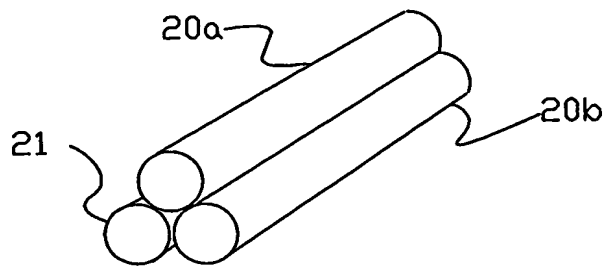


Fig 2b

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.